



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DA MÁQUINA DE ESCARFAGEM AUTOMÁTICA (MEA)¹

Hormando Leocadio Júnior²
Eduardo Alvarenga³
Vitor Litwinczik⁴
Arcanjo Lenzi⁵
Steve Engel⁶

Resumo

O controle dos níveis de ruído em ambientes industriais vem a cada dia tendo mais importância. Em casos extremos, pode levar a paradas ou redução da produção por demandas legais. Máquinas de escarfar automáticas são conhecidas por gerar altos níveis de ruído. Usualmente, a solução usada para redução do ruído irradiado é a construção de uma clausura acústica ao redor da máquina. Porém, isto tem efeito limitado. Uma melhor solução pode ser buscada no entendimento do mecanismo de geração de ruído e como as suas variáveis afetam o nível de ruído irradiado, o processo de escarfagem e a qualidade da placa escarfada. Este artigo apresenta a investigação conduzida nas máquinas da Usiminas direcionada a reduzir o ruído ao redor da máquina mantendo o desempenho e a qualidade esperada. Este trabalho começou com uma diagnose da condição da máquina atual e sua clausura, seguida da tentativa de modelamento da combustão e do mecanismo de geração de ruído. Posteriormente, dados experimentais foram levantados no campo, levando a um ponto de operação ótimo. Como resultado, o nível de ruído reduziu em mais de 10 dB, sem perdas de qualidade e produtividade.

Palavras-chave: Escarfagem; Ruído; Máquina de escarfar.

HIGH NOISE DIAGNOSYS ON USIMINAS SCARFING MACHINE

Abstract

Noise is becoming a fundamental issue on industrial environment. In extreme cases, it can lead to production stoppages or reduction due to legal issues. Automatic scarfing machines are known to generate high noise. Often, the solution used for noise reduction is to build an acoustic enclosure around the machines, but this has a limited effect. A better approach is to understand the noise mechanism generation and how its variables affect noise, scarfing process and scarfed slab surface. This paper intends to present the investigation conducted at Usiminas' machines aimed to reduce noise near the scarfing machine surround while keeping performance and quality. The work started with a diagnosis of the current situation of machine and acoustical enclosure, followed by a tentative of modeling the combustion flame and the noise generation. Later, experimental data was gathered in situ, leading to an optimum operational point. As a result, the noise level has dropped more than 10 dB without quality and productivity loss.

Key words: Scarfing; Noise; Scarfing machine.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Mestre em Engenharia Mecânica, Usiminas.

³ Mestre em Engenharia Mecânica, EAA Consult.

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica, Anima Acústica.

⁵ PhD em Engenharia Mecânica, UFSC.

⁶ Engenheiro, L-Tec (USA).



1 INTRODUÇÃO

O estudo do ruído excessivo das Máquinas de Escarfagem Automática (MEA) da Usiminas foi dividido em três etapas:

- diagnose da clausura atual e determinação de melhorias necessárias;
- simulação do fenômeno gerador de ruído nos bicos de escarfar; e
- testes em bicos protótipos buscando alcançar uma relação ótima entre ruído e qualidade superficial da placa escarfada.

A diagnose da clausura atual das MEAs concluiu que os principais pontos fracos da clausura eram as aberturas para entrada e saída das placas na máquina. Medidas de correção foram propostas e estão em fase de confecção de peças para futura montagem.

A segunda etapa mostrou-se por demais complexa, sendo abandonada em função do estudo numérico do processo de combustão na presença de jatos de O₂ e GLP não ser possível por restrições dos modelos numéricos disponíveis.

A terceira foi desenvolvida a partir de observações dos técnicos da empresa L-Tec, fabricante de bicos e máquina de escarfar, e da medição do ruído da Máquina de Escarfar da Usina Presidente Bernardes (Cubatão/SP). Um experimento auxiliar foi conduzido em Fevereiro de 2011 na Máquina de Escarfar #2 da Usina de Ipatinga/MG.

Este artigo descreve os resultados em termos de ruído observado e qualidade de escarfagem para diversos bicos testados, apontando quais as variáveis testadas se mostraram mais influentes.

2 COMPARAÇÃO ENTRE MÁQUINAS

A metodologia escolhida para comparação entre as máquinas foi realizar a medição de ruído uma mesma distância para ambas as máquinas. Além da comparação direta com os valores de ruído, os valores coletados serviram de base para estimativa da potência sonora da máquina de escarfar.

Os níveis de ruído foram registrados nos valores em 1/3 de oitava e banda estreita. Apesar de chamar a atenção os níveis de deslocamento da máquina quando do jato de escarfar, nenhum valor de aceleração foi registrado.

De forma a avaliar se as pressões de oxigênio poderiam influenciar no ruído percebido, as medições foram realizadas variando-se a pressão do ponto de operação da Máquina da Usina Presidente Bernardes (0,5 bar) até uma posição intermediária ao ponto de operação da Máquina da Usina Intendente Câmara (1,7 bar). Este segundo ponto foi escolhido em 1,2 bar. As Figuras 1 e 2 mostram a comparação entre ruído amostrado em espectros em 1/3 de oitava e banda estreita respectivamente.

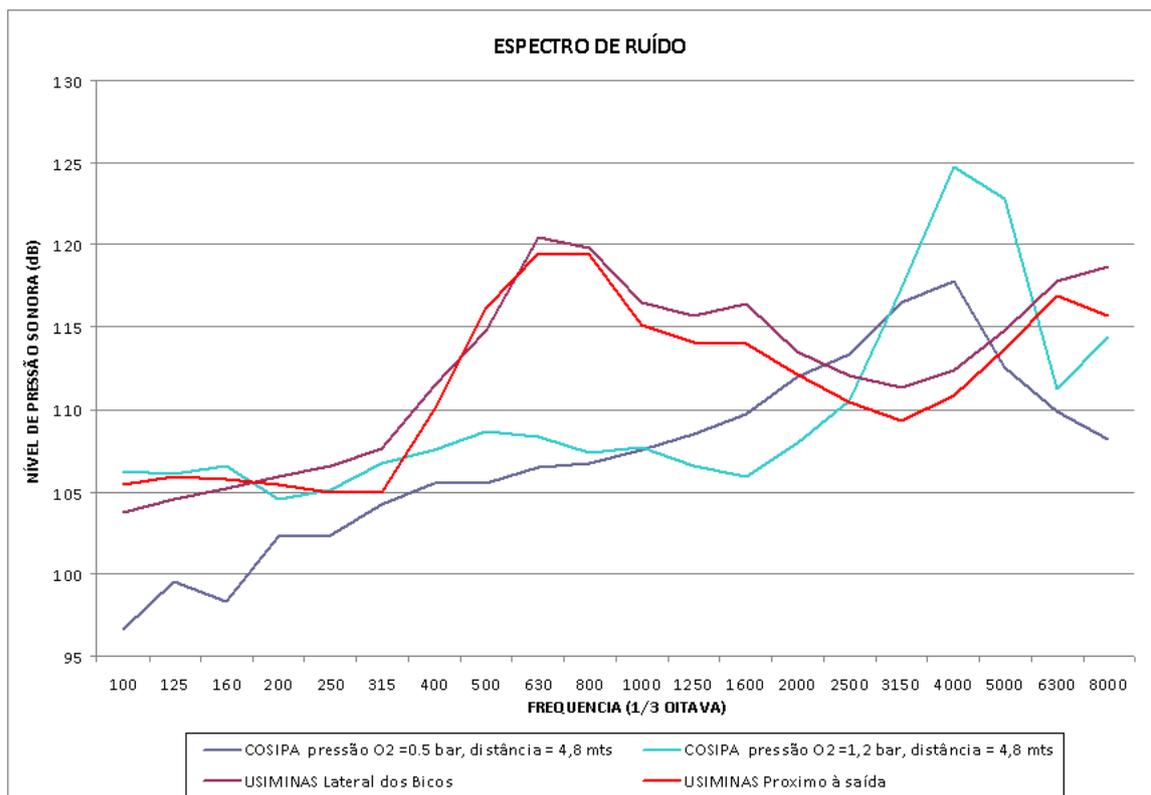


Figura 1. Níveis de ruído medidos 1/3 de oitava.

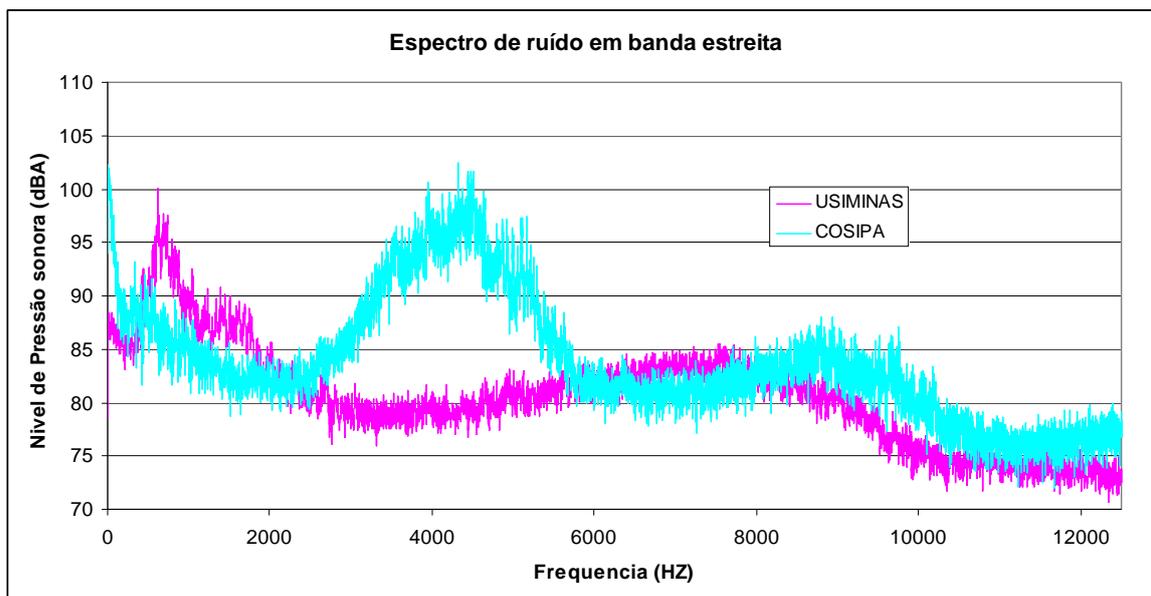


Figura 2. Espectro de ruído das máquinas em banda estreita.

Ao analisar os espectros em banda estreita de ruído, pode-se constatar que há uma diferença significativa. Apesar dos níveis globais de ruído serem semelhantes, a frequência predominante é bastante diferente. Na máquina da Usina Intendente Câmara, nota-se que o espectro é dominado por um pico estreito 684 Hz. Já na máquina da Usina Presidente Bernardes, a energia sonora está concentrada numa banda bem mais larga, entre 2.500 Hz e 6.000 Hz. Isto pode ser de extrema importância na pesquisa do entendimento do fenômeno gerador de ruído conduzida pela Usiminas e a Universidade Federal de Santa Catarina.



Quanto aos valores globais, nota-se que os valores registrados para a Usina Presidente Bernardes são ligeiramente inferiores aos medidos próximos da máquina da Usina Intendente Câmara Porém, ao elevar-se a pressão de O₂ para valores acima do ponto de operação normal, há um acréscimo do ruído em 7 dB. Neste caso, os níveis de ruído percebidos são bastante semelhantes aos registrados próximo à máquina da Usina Intendente Câmara, tomando-se por base o interior da clausura. Cabe notar que o aumento de ruído anotado na Usina Presidente Bernardes está concentrado justamente nas bandas de 3.150 Hz, 4.000 Hz e 5.000 Hz (Figura 1).

Pode-se concluir que em condições semelhantes, as máquinas de escharfar geram ruídos de mesma intensidade.

3 METODOLOGIA DE TESTES

Face ao verificado, um experimento foi proposto visando identificar e quantificar as variáveis que podem afetar a qualidade de escharfagem e o ruído gerado pelo bico de escharfagem. O objetivo final seria permitir determinar com os dados levantados traçar um ábaco contendo regiões seguras para operação dos bicos, quer seja em ruído quer seja em qualidade de escharfagem.

Antes de prosseguir com o experimento, a empresa L-Tec, fornecedora de bicos e máquina de escharfar foi consultada. Segundo a experiência de seus técnicos, a variável de maior impacto no ruído é a profundidade do rasgo do bico. O nível de ruído é pouco sensível à pressão de O₂, mas varia levemente com a pressão do gás carburante.

O experimento foi então programado de forma a avaliar a influência das diferenças geométricas dos bicos (tanto no nível de ruído quanto na qualidade de escharfagem) e da variação de pressão de O₂ e gás carburante. No intervalo entre a medição realizada na Usina Presidente Bernardes e a realização do experimento na Usina Intendente Câmara, as máquinas de escharfar da Usina de Ipatinga foram convertidas para de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) para Gás Natural (GN).

Diante das dificuldades de se ensaiar numa mesma máquina dois tipos de gás carburante (GLP ou gás natural), esta variável foi deixada para uma etapa vindoura.

A Tabela 1 lista as variáveis do experimento consideradas.

Tabela 1. Variáveis de entrada e saída do experimento proposto

Variáveis de entrada (controle)	Variáveis de saída (resposta)
<ul style="list-style-type: none">• Tipo de bico (profundidade do rasgo)• Pressão de O₂• Pressão de Gás Natural	<ul style="list-style-type: none">• Aspecto placa escharfada• Altura dos vales• Nível de ruído.

A Figura 3 mostra esquematicamente a determinação objetiva da qualidade de escharfagem.

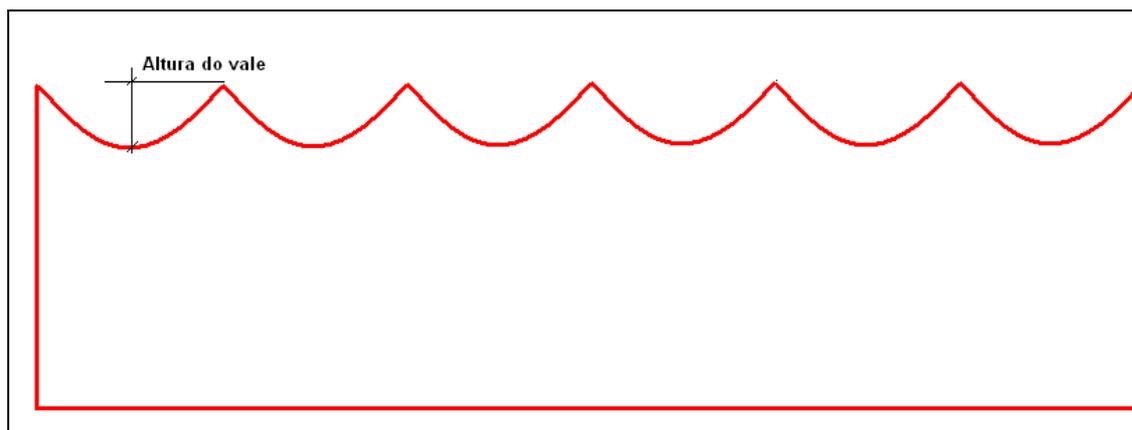


Figura 3. Aspecto da qualidade superficial a ser utilizado como variável de saída do experimento.

De forma a manter os registros já conhecidos, os testes estavam programados para serem realizados na MEA #1 da Usina Intendente Câmara, em pontos semelhantes aos já amostrados. Porém, devido à falta de disponibilidade desta máquina, as medições foram realizadas na MEA #2, sem prejuízo de análise.

Em reunião prévia com a Usiminas alguns pontos foram decididos:

- pela experiência do fornecedor, a qualidade e material da placa a ser escafada poderia afetar a superfície final após escafagem. Para contornar este problema, uma partida de placas de uma mesma corrida foi selecionada para este teste. As duas superfícies das placas foram escafadas na mesma máquina de forma a garantir mais superfícies de amostra;
- também a velocidade de escafagem foi estabelecida como constante e controlada em 10 m/s;
- a L-Tec realizou uma inspeção e regulagem na máquina previamente aos ensaios. Na ocasião, alguns aspectos sobre a máquina de escafar foram relatados;
- as variações nas pressões de trabalho deveriam estar dentro do limite operacional, não excedendo valores que comprometessem a segurança operacional da máquina. Os valores adotados foram:
- oxigênio:
 - *set-point* = 1,722 bar;
 - valor mínimo = 1,5 bar;
 - valor máximo = 2,0 bar.
- gás natural:
 - *set-point* = 0,333 bar;
 - valor mínimo = 0,15 bar;
 - valor máximo = 0,60 bar.
- além dos microfones, um acelerômetro foi instalado na estrutura do bico, a fim de captar as vibrações advindas do processo de escafagem. A Figura 4 mostra esquematicamente as posições dos microfones e do acelerômetro.

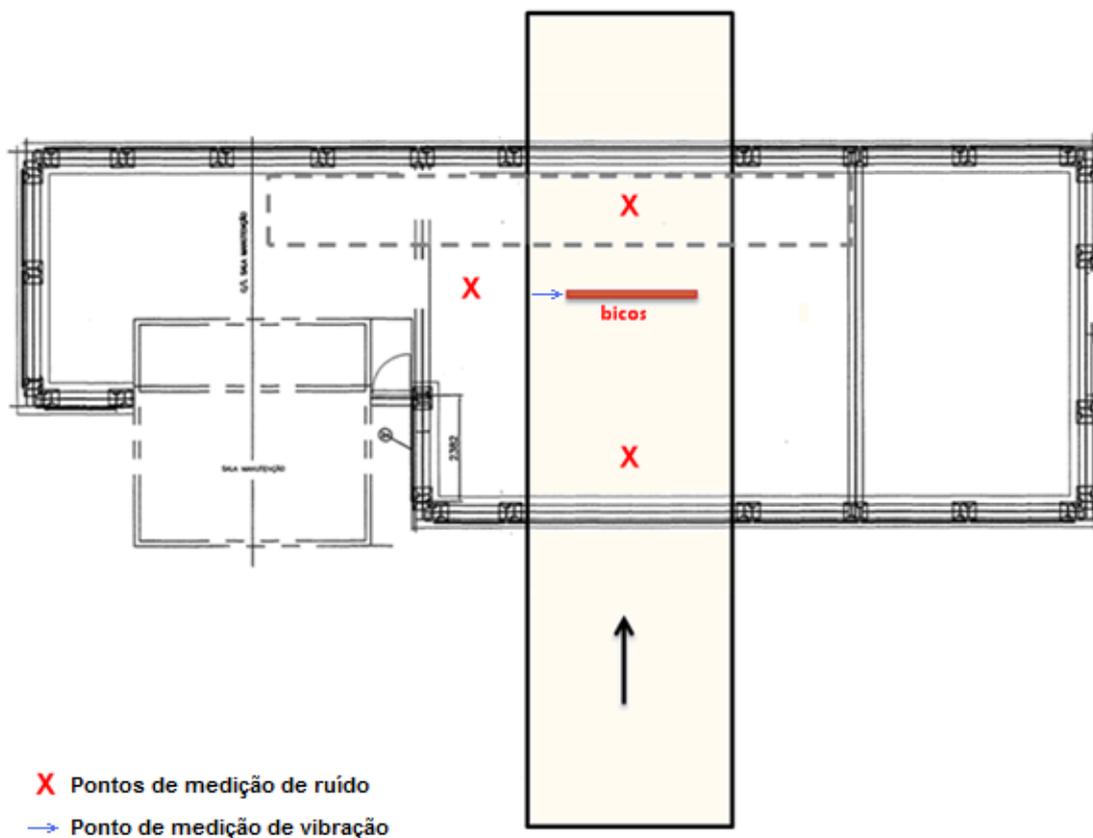


Figura 4. Espectro estimado de potência sonora do bico de escarragem.

4 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

4.1 Resultados de Ruído

As Figuras 5 a 8 mostram os resultados obtidos em forma gráfica.

4.1.1 Variação do ruído com pressão de gás natural

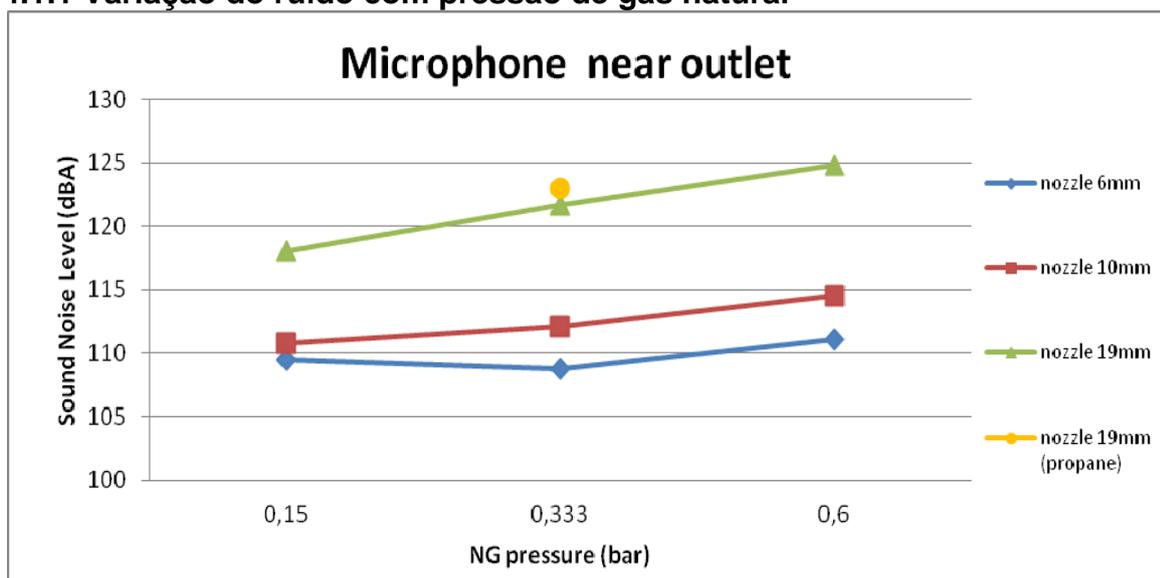


Figura 5. Espectro estimado de potência sonora do bico de escarragem.

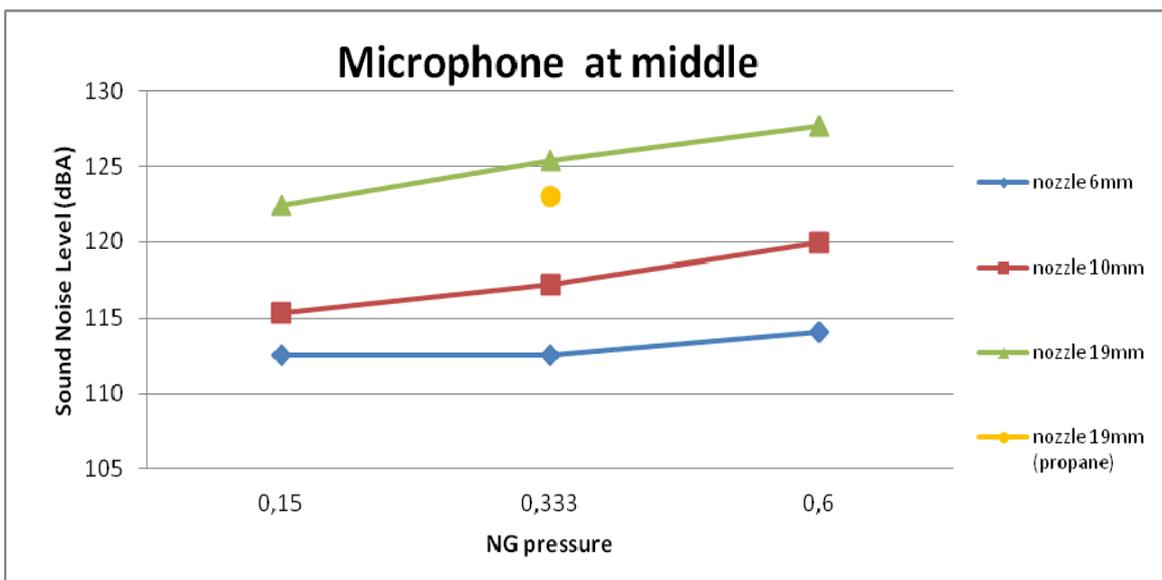


Figura 6. Espectro estimado de potência sonora do bico de escarfaagem.

4.1.2 Variação do ruído com pressão de oxigênio

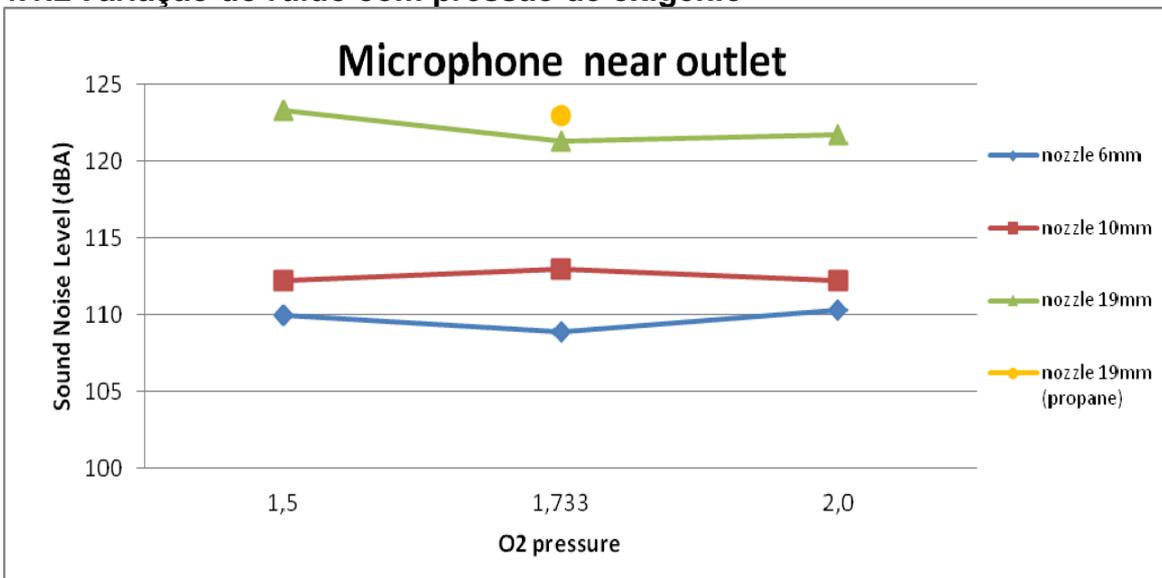


Figura 7. Espectro estimado de potência sonora do bico de escarfaagem.

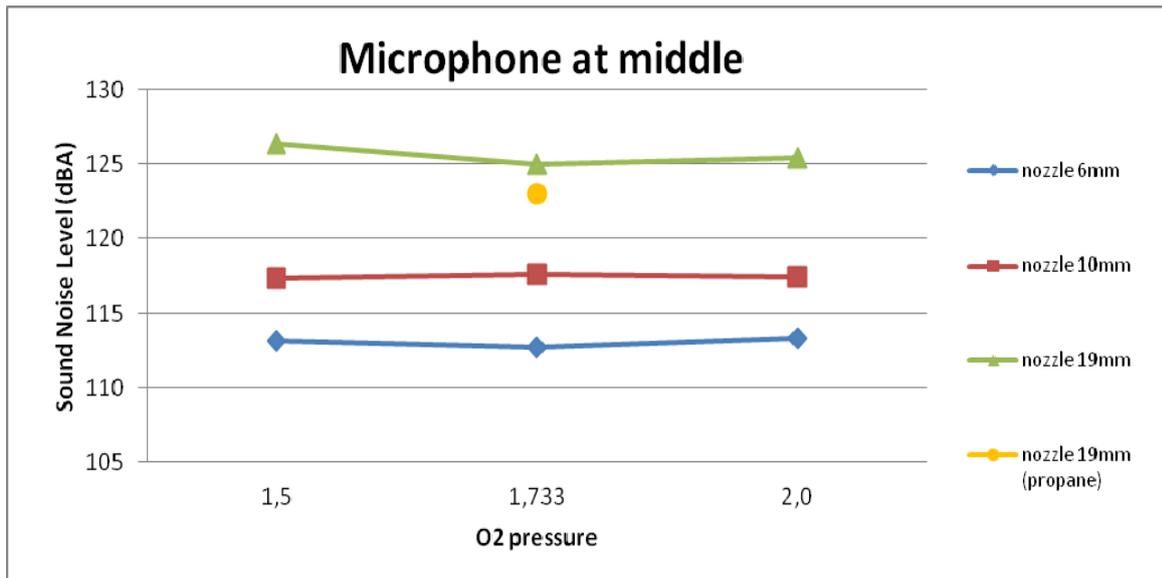


Figura 8. Espectro estimado de potência sonora do bico de escarfigem.

As Figuras 5 a 8 mostram claramente que a variável mais influente é o rasgo de profundidade do bico. No *set-point* de operação, há uma diferença de 12 dB entre o bico convencional (6 mm) e o *smooth surface* (19 mm). O bico de 10 mm apresenta valores intermediários, 3 dB acima do bico convencional e 9 dB menor que o bico de 19 mm.

Baseado nos valores medidos pode-se, preliminarmente, estimar uma variação de 0,93 dB para cada mm de aumento na profundidade do rasgo dos bicos, considerando-se as condições de *set point*.

4.1.3 Variação do ruído com pressão de gás natural – espectro de ruído

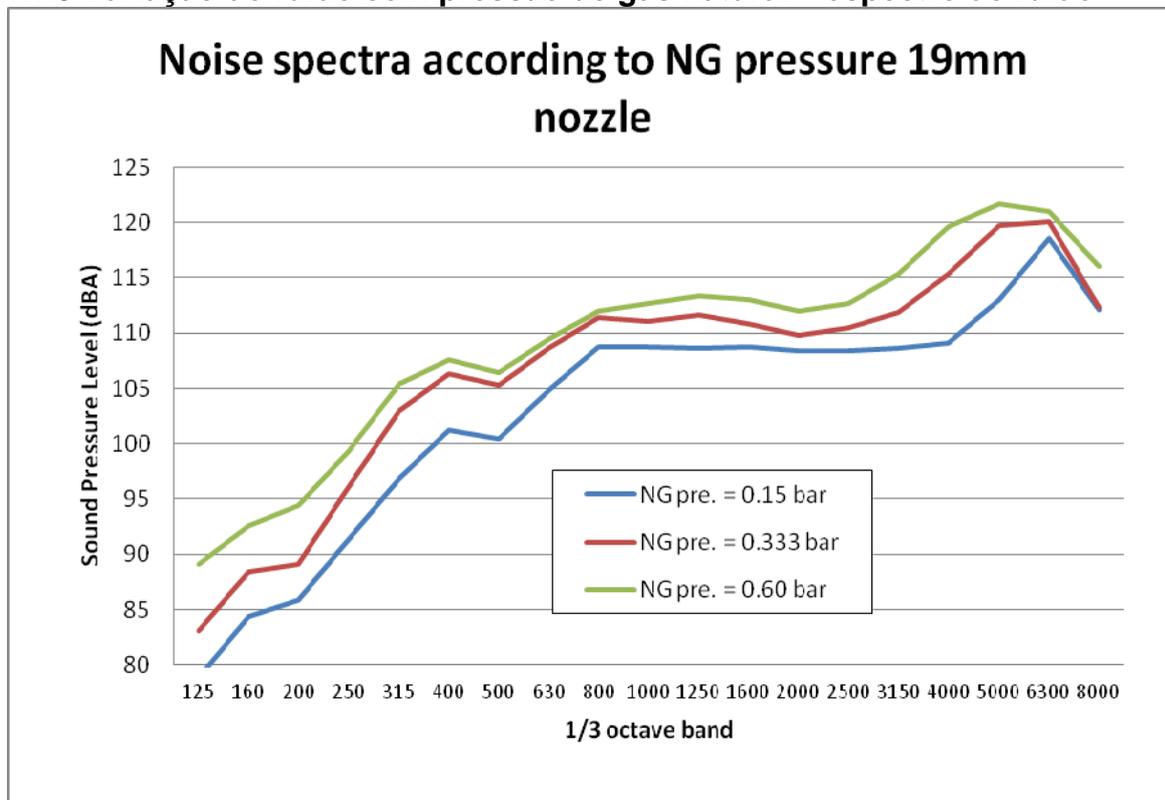


Figura 9. Espectro estimado de potência sonora do bico de escarfigem.



Apesar de não haver mudanças no nível de ruído, há uma diferença significativa no espectro de ruído quanto se altera o gás combustível.

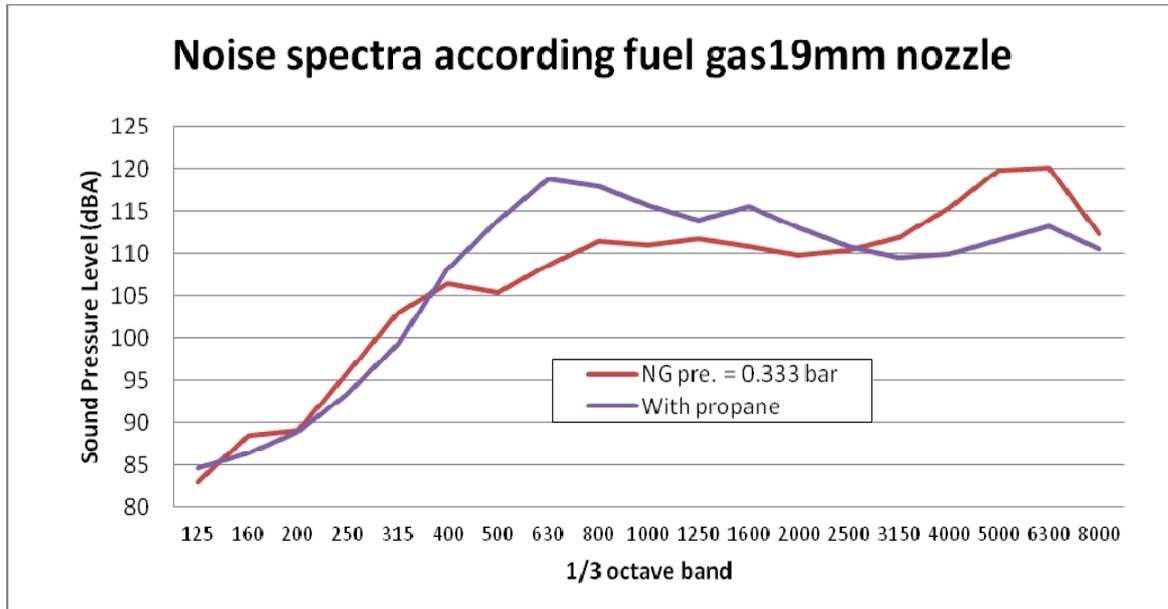


Figura 10. Espectro estimado de potência sonora do bico de escarfigem.

Uma boa análise foi verificar não só o aumento de ruído, mas também a modificação do espectro do ruído medido. A Figura 12 mostra espectros em função da alteração da pressão do gás natural no bico de 19 mm. Além da constatação do aumento do ruído, chama a atenção o deslocamento do pico de ruído para frequências mais baixas à medida que a pressão do gás sobe. De fato, para a pressão de 0,15 bar, o pico está centrado por volta de 6 kHz, já para a pressão de 0,6 bar, o pico desloca-se para 4,5 kHz. Nota-se também que associado ao aumento da pressão, o pico tende-se a abrir, espalhando a energia sonora por uma maior faixa de frequência.

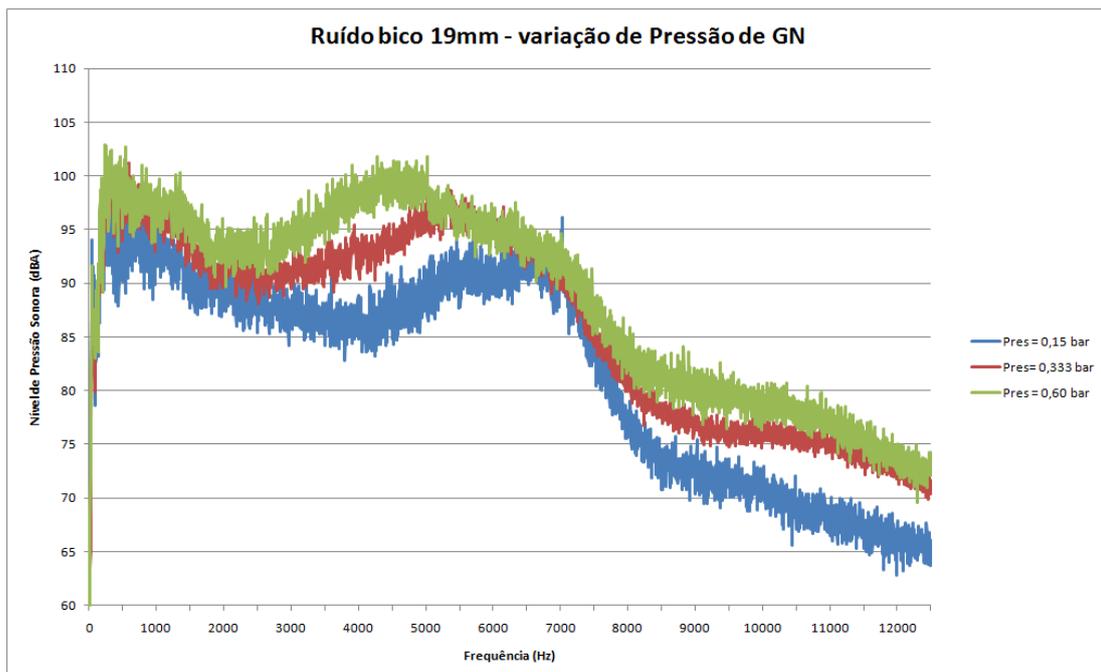


Figura 11. Espectro do ruído irradiado pelo bico de 19mm em função da pressão de GN.



Já a variação do espectro de ruído em função da dimensão do rasgo dos bicos mostra basicamente que a energia sonora está bem distribuída ao longo do espectro para o bico convencional (6 mm). A medida que a profundidade do rasgo aumenta, picos começam a surgir no espectro de freqüências, concentrando a energia sonora em determinadas faixas de freqüência. Este fenômeno está exemplificado na Figura 12.

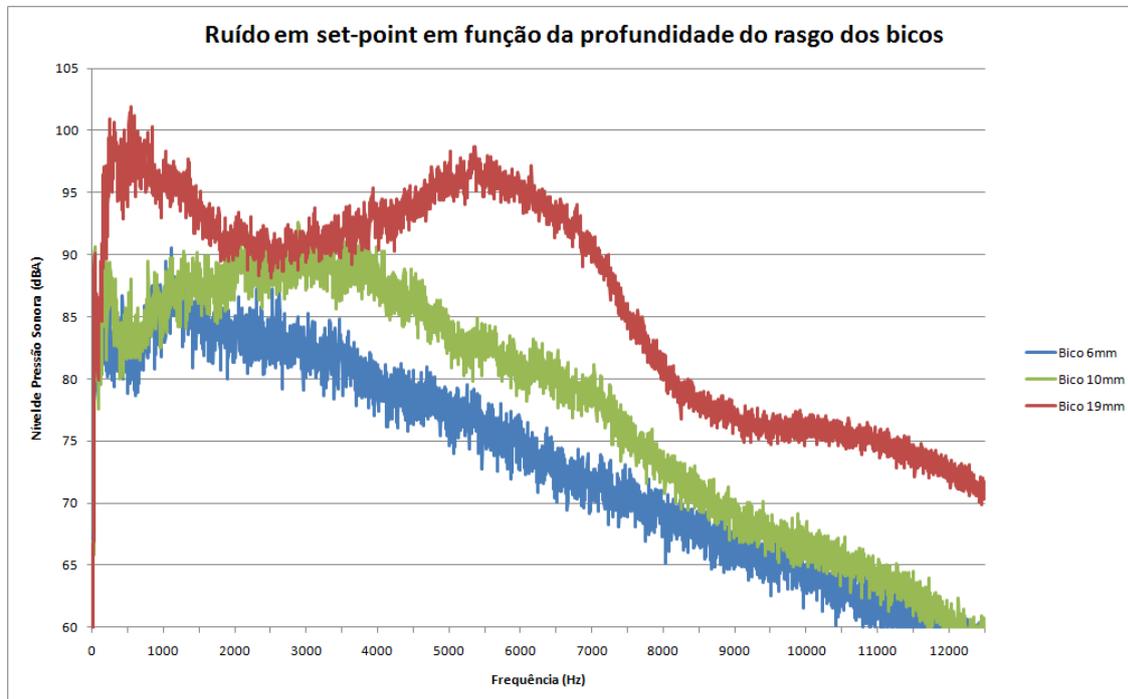


Figura 12. Espectro do ruído irradiado no *set-point* operacional em função do rasgo dos bicos de escarfagem.

4.2 Resultados de Qualidade de Escarfagem

O estudo desenvolvido buscava em última análise possibilitar garantir qualidade superficial à placa escafada, num determinado nível de ruído que não afetasse a saúde dos operadores das unidades de escarfagem automática. Qualidade superficial pobre tem sido um problema para a empresa quando utilizado o bico convencional. As imagens da Figura 13, mostram um exemplo da qualidade buscada (esquerda) e da atualmente produzida (direita).



Figura 13. Comparativo das placas escafadas com bico *smooth surface* (Nippon Steel) e bico convencional (Usiminas).



As placas esarfadas durante o experimento foram avaliadas segundo sua qualidade superficial. A Tabela 2 mostra os valores médios medidos de altura de crista após esarfagem.

Tabela 2. Valores de nível de ruído medidos e altura de crista na placa esarfada

Bloco	Profundidade do rasgo	Nível de Ruído	Crista na Superfície da Placa
Convencional	6 mm	referência	2.4 mm
Intermediário	10 mm	+3 dB	1.1 mm
Smooth Surface	19 mm	+12 dB	-

Conclui-se que o bico intermediário (10 mm) consegue aliar uma boa qualidade superficial a um nível de ruído adequado no entorno das Máquinas de Esarfcar. O nível de ruído externo a clausura produzido pelos bicos intermediários atinge valores abaixo do máximo exigido pela empresa e garante a qualidade superficial esperada pelo processo.

A Figura 14 ilustra a qualidade superficial final para o bloco intermediário (10 mm).

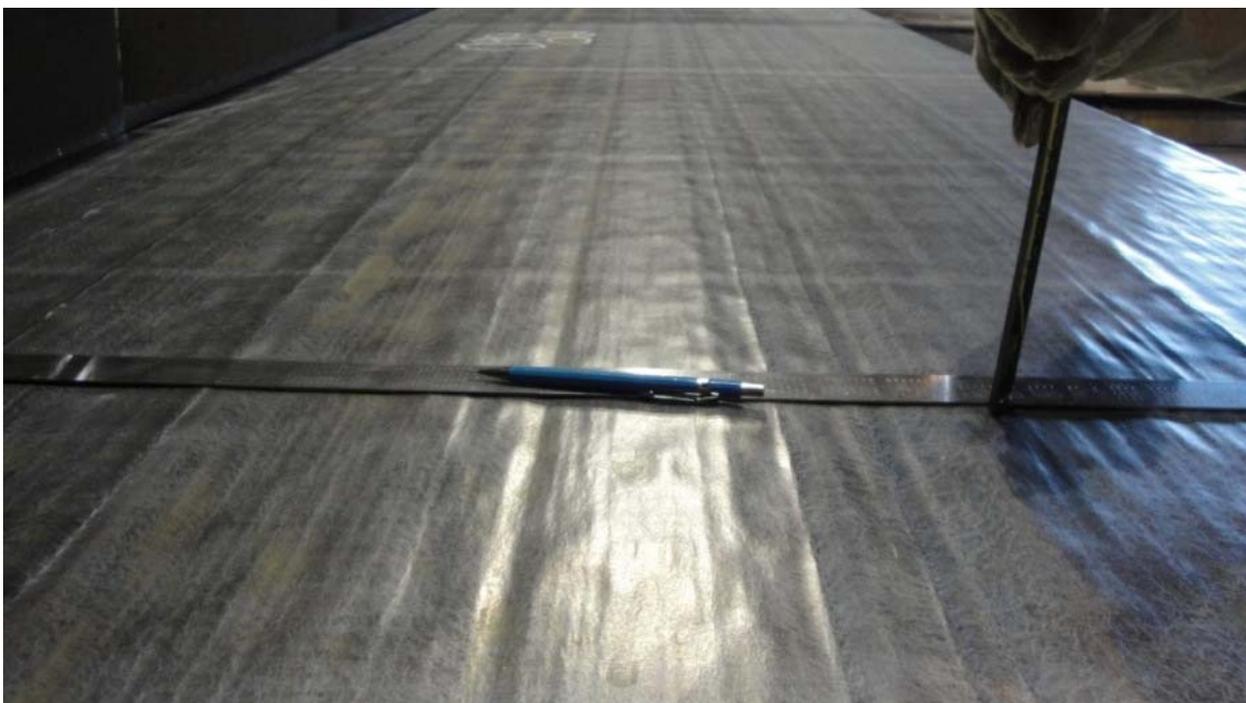


Figura 14. Qualidade superficial da placa esarfada com bico intermediário (10 mm).

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que apesar das diferenças encontradas entre a operação das máquinas de esarfcar automáticas da Usiminas, os níveis de ruído irradiados pelo processo de esarfagem são semelhantes.

Importantes diferenças foram notadas no espectro de freqüência entre as duas máquinas. Enquanto a MEA da Usina Intendente Câmara possui a energia sonora concentrada em um determinado pico de média freqüência (aproximadamente 680 Hz), a MEA da Usina Presidente Bernardes tem sua energia sonora concentrada em alta freqüência, numa banda mais larga que a MEA da Usina



Intendente Câmara. Esta diferença poderia estar associada ao gás carburante, diferente entre as duas máquinas.

Durante as medições, pode-se constatar que os valores de pressões de O₂ têm influência direta no nível de ruído percebido nos arredores da máquina. Um aumento de 0,7 bar na pressão de operação resultou num aumento de 7 dB.

Com o objetivo de apontar uma região segura de operação, tanto no quesito ruído quanto qualidade de escarragem, um experimento avaliando o tipo do bico e a pressão de oxigênio foi proposto. Este experimento deverá ser desenvolvido na MEA #1 de forma a manter os registros anteriormente coletados de ruído próximo da máquina como referência. Este experimento apontou os seguintes resultados:

- A pressão de gás combustível tem relação direta com o ruído do bico;
- o bico 19 mm é mais sensível ao aumento de pressão que o bico 6 mm;
- para o bico de 19 mm, o nível de ruído interno é semelhante tanto para gás natural, quanto para GLP;
- o aumento de ruído pode ser descrito como banda larga e está concentrado nas frequências de 3 kHz a 6 kHz;
- o nível de ruído é praticamente insensível à variação da pressão de O₂;
- quanto maior o recesso do bico, maior o ruído. O bico 19 mm (*smooth surface*) é 12 dB mais ruidoso que o bico 6 mm (*standard*);
- o bico 10 mm apresenta um bom compromisso entre qualidade superficial e ruído (aprox. 3 dB a mais que bico 6 mm e 9 dB a menos que bico 19 mm);
- não há redução dos níveis de ruído devido à mudança do gás combustível, mas uma variação no espectro de ruído;
- o ruído tem pouca variação com a pressão de O₂, mas tende a aumentar com o aumento da pressão do Gás Natural;
- não há diferenças entre o ruído da MEAS da Usina Presidente Bernardes em comparação com a MEAS da Usina Intendente Câmara quando utilizadas as mesmas condições de operação; e
- um ponto ótimo de operação pode ser alcançado utilizando como variáveis a profundidade do recesso e a pressão de operação do Gás Natural.